

А. И. СМЕРНОВ.

Об определении наивыгоднейших размеров шахтных полей и выемочных участков при разработке пластовых месторождений.

I.

Нельзя сказать, что в настоящее время мы уже имеем твердо установленную и общепринятую рудничную терминологию, и это обстоятельство требует, во избежание каких-либо неясностей, дать предварительно точное определение тем терминам и понятиям, которые будут встречаться в дальнейшем изложении.

Согласно определениям, данным профессором Б. И. Бокием (Б. И. Бокий «Практический курс горного искусства», стр. 638 и др.), рудником называется предприятие, организованное для добычи полезного ископаемого и связанное единством концессии, администрации и плана работ.

В пределах земельного участка, занимаемого рудником, могут находиться одна или несколько под'емных шахт, причем каждая из них обслуживает некоторую вполне определенную часть пласта или свиты пластов полезного ископаемого. Площадь такой части пласта или свиты, эксплуатируемая определенной под'емной шахтой, называется шахтным полем.

В зависимости от производительности шахты ее поле по высоте разделяется на отдельные части, называемые *этажами*, которые обслуживаются откаточными этажными или основными штреками, причем наклонной высоте этажа придается такая величина, которая гарантировала бы шахте, при определенной скорости подвигания забоев, требуемую от нее производительность.

При значительной высоте этажа он в свою очередь для безопасности, удобства и экономичности работ разбивается по высоте на *под'этажи*, обслуживаемые так называемыми промежуточными откаточными или под-этажными штреками.

По простиранию пласта этаж разбивается бремсбергами на *выемочные поля*, которые ограничиваются таким образом по простиранию двумя бремсбергами, а по восстанию-границами этажа или шахтного поля, если последнее заключает в себе только один этаж.

Части под-этажей, образованные пересечением их бремсбергами, носят название *выемочных участков*.

Как и все площади, шахтные поля и выемочные участки измеряются квадратными единицами, т. е. определяются произведением двух линейных величин. Такими определяющими линейными величинами для шахтных полей и выемочных участков являются —длина их по линии простирания пластов и наклонная высота по линии падения.

Рациональные размеры шахтных полей по линии падения (наклонная высота шахтного поля) определяются обыкновенно условиями месторождения—числом пластов свиты, их производительностью, углом падения и проч., а также той добычей, на которую шахта проектируется.

Что касается второй величины шахтного поля—длины его по простиранию, то размеры ее определяют границы того участка, который с выгодой может быть выбран эксплуатационными работами через данную шахту. Эта выгода представляется, как наименьшие расходы по затрате рабочей силы и материалов, по сохранению и поддержанию данных подземных выработок в течение времени существования данной шахты, с одной стороны, и по откатке всего запаса полезного ископаемого, подлежащего эксплуатации через нее—с другой. По мере удаления от шахты основные выработки требуют ремонтных работ тем более, чем они длиннее. Равным образом, доставка полезного ископаемого к эксплуатационной шахте становится тем более дорогой, чем далее подвигаются работы от ствола шахты. Расходы по ремонту основных выработок и расходы по откатке по ним полезного ископаемого возрастают по мере удаления работ от шахты и в связи с удлинением этих основных выработок. Предельные длины их ограничивают собою размеры шахтного поля, а следовательно эксплуатация соседних участков месторождения, лежащих за пределами этих длин, должна производиться уже через новые шахты, и наивыгоднейшей длиной шахтного поля надо считать ту, которая при этих условиях отвечает наименьшей сумме расхода материалов и рабочей силы.

Вопрос об определении наивыгоднейших размеров шахтных полей уже рассматривался в горно-технической литературе. Проф. Б. И. Бокием. («Выбор системы работ при разработке свиты пластов» Горн. Журн., 1903 г.) для определения предельной длины S шахтного поля по простиранию была предложена формула:

$$S = \sqrt{\frac{2 H k l}{r}} \quad (1),$$

где H —глубина шахты,

k —стоимость прохождения 1 пог. саж. шахты,

l —месячная скорость подвигания забоев,

r —месячная стоимость ремонта 1 пог. саж. основного штрека.

Инж. Л. М. Рутенберг («Определение наивыгоднейших размеров шахтного поля», Зап. Горн. Инст., 1911, т. IV) несколько видоизменил формулу Б. И. Бокия, придав ей зависимость от времени существования шахты. Недавно в одном из приложений к журналу «Горное дело» («Технический Сборник», № 6, 1921) И. Цимборевич, рассматривая вопрос «Об определении размеров шахтных полей при разработке пластовых залежей в условиях Подмосковского бассейна», дал формулу, совершенно тождественную с формулой Б. И. Бокия, хотя пришел к ее выводу несколько иным путем, чем Б. И. Бокий.

Все перечисленные работы, разбирая вопрос об определении длины шахтного поля, рассматривают его только с точки зрения расходов по ремонту основных выработок в шахте, совершенно не учитывая увеличения расходов по откатке, неизбежно возрастающих с удалением работ от шахты, т. е. с удлинением шахтного поля, и тем самым, независимо от ремонта выработок, полагающих с своей стороны известные пределы удлинению шахтного поля.

Если бы мы, рассчитывая длину шахтного поля по выше приведенной формуле Б. И. Бокия, представили себе случай, когда выработки совершенно ремонта не требуют, т. е. когда $r = 0$, что теоретически вполне возможно, то получили бы для длины S поля

$$S = \infty,$$

что явно неверно, так как длине поля были бы положены определенные границы возрастанiem стоимости откатки, и неверно именно потому, что формулой (1) не предусмотрен и не учтен этот второй фактор, ограничивающий размеры шахтного поля по простиранию.

Настоящая работа и имеет своей задачей дать, по возможности, простые, практически применимые методы и формулы для определения размеров шахтных полей, а также выемочных участков, учитывая оба только что указанные основные факторы, определяющие эти размеры, что в связи с стоимостью прохождения соответствующих выработок (шахт, штреков и бремсбергов) исчерпывает все *экономические* условия, влияющие на выбор размеров шахтных полей по простиранию и выемочных участков.

II.

Пусть мы имеем участок, на котором залегает свита пластов с общей производительностью $\Sigma p = p_1 + p_2 + p_3$ и т. д. пудов и общей длиной простирания S саж. Пусть далее условия залегания и заданная производительность шахты определили ее глубину в H саж.

Ставится вопрос о том, как велико должно быть поле по простиранию, которое может захватить шахта эксплуатационными работами или—другими словами—сколько нужно заложить шахт

на всем протяжении свиты пластов на участке, чтобы вести эксплуатацию наиболее экономическим образом.

Если обозначим длину поля, которое шахта может захватить в обе стороны по простиранию черёз x , то число N шахт на участке при длине его S определится равенством—

$$N = \frac{S}{x},$$

откуда

$$S = x N$$

Если мы возьмем поле с простиранием $x_1 > x$, то, очевидно, число шахт на участке будет меньше, но за то расходы по ремонту более длинных выработок и расходы по откатке с более длинных расстояний возрастут. Наоборот, если возьмем $x_2 < x$, то число шахт при эксплуатации всего участка увеличится, увеличатся поэтому затраты по проходке и устройству шахт, но за то штреки будут короче, их ремонт и откатка по ним будут дешевле.

Ясно, что наивыгоднейшая длина шахтного поля по простиранию должна удовлетворять условию, чтобы при эксплуатации всего участка сумма затрат по проведению шахт, сумма расходов по содержанию штреков и сумма расходов по откатке была наименьшей.

Ясно также, что это условие будет соблюдено, если для каждой отдельной шахты сумма тех же расходов, падающих на пуд добытого полезного ископаемого, будет тоже наименьшей.

Если мы обозначим:

через y_1 — расходы, падающие на пуд. ископаемого от прохождения шахты,

y_2 — расходы на пуд от ремонта штреков и

y_3 — расходы на пуд от откатки ископаемого к стволу шахты, то аналитически условие наиболее выгодной длины шахтного поля по простиранию можно выразить таким образом:

$$y_1 + y_2 + y_3 \text{ должно быть минимум} \quad (2)$$

Решение поставленного вопроса о нахождении наиболее выгодных размеров шахтного поля по простиранию может быть выполнено графическим способом и аналитическим.

Обозначим

через K — стоимость прохождения (с оборудованием) 1 пог. саж. шахты,

B — наклонную высоту шахтного поля,—тогда сохраняя за H , Σp и x ранее принятые обозначения, для расходов, падающих на пуд ископаемого от прохождения шахты, будем иметь выражение—

$$y_1 = \frac{K H}{\Sigma p B x} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

Полученное уравнение есть уравнение гиперболы и, откладывая на прямоугольной системе координат по оси x -ов произвольные значения для длины шахтного поля x , и по оси ординат соответствующие значения y_1 -ов, мы построим кривую (см. черт. 1, линия АВ), выражающую изменение расходов по проведению шахты, падающих на пуд ископаемого в зависимости от длины шахтного поля.

Расходы по ремонту основного штрека определяются его длиной, временем существования и теми общими условиями, в которых штрек находится, зависящими от общего характера пород месторождения, принятой системы разработки и проч.

Если мы по-прежнему будем обозначать через x — длину шахтного поля по простиранию, то длина основного штрека в одну сторону от шахты при центральном расположении ее будет:

$$\frac{x}{2}$$

и, если l — средняя месячная скорость подвигания забоев от шахты к границе поля, то время m существования основного штрека будет

$$m = \frac{x}{2l} \quad \text{месяцев} \quad . . . \quad (4)$$

Примем стоимость ремонта 1 пог. саж. этого штрека в месяц равной r руб. и подсчитаем стоимость его ремонта в течение m месяцев.

С каждым месяцем длина основного штрека увеличивается на 1 саж. и чем раньше известная часть штрека пройдена, тем большее время она требует поддержания (ремонта) и тем дороже этот ремонт обходится. Соответственно тому, часть штрека длиной 1 саж., пройденная в 1-й месяц, потребует своего поддержания в течение всего времени существования штрека, т. е. в течение m месяцев; часть штрека той же длины 1, пройденная во 2-ом мес., потребует ремонта в течение $(m - 1)$ месяцев и т. д.

Таким образом, стоимость ремонта этих частей основного штрека, пройденных в 1-й, 2-й, 3-й $(m - 1)$ и m -ый месяцы эксплуатации шахты, соответственно будет:

$$\begin{aligned} & r l m \\ & r l (m-1) \\ & r l (m-2) \\ & \\ & r l [m-(m-1)] \end{aligned}$$

Суммируя полученную прогрессию, найдем расходы R^1 по ремонту основного штрека одного крыла шахты:

$$R^1 = rlm + rl(m-1) + rl(m-2) + \dots + rl[m - (m-1)] = \\ = rlm^2 - rl[1 + 2 + 3 + \dots + (m-1)] = \frac{rlm(m+1)}{2}$$

а для всего основного штрека—

$$R = 2R^1 = rlm(m+1)$$

или, принимая во внимание равенство (4) —

$$R = \frac{rx}{2} \left(\frac{x}{2l} + 1 \right)$$

Расходы y_2 , падающие на пуд ископаемого от ремонта основных штреков, будут:

$$y_2 = \frac{rx}{2Bx\Sigma p} \left(\frac{x}{2l} + 1 \right) = \frac{r}{2B\Sigma p} \left(\frac{x}{2l} + 1 \right) \dots \dots (5)$$

Полученное выражение есть, как видно, уравнение прямой и, задаваясь определенными величинами для B , Σp , l и r , мы можем ее вычертить (черт. 1, линия ВС) и эта прямая, очевидно, выразит зависимость от длины шахтного поля лежащих на пуд ископаемого расходов по ремонту основного штрека.

При определении третьего, входящего в условие (2) слагаемого—расходов по откатке,—могут практически быть два случая:

1 — расстояние откатки по основному штреку увеличивается непрерывно с удалением забоев от ствола шахты на каждую сажень;

2 — расстояние откатки меняется периодически от бремсберга до бремсберга.

И в том, и в другом случае всегда имеется известное мертвое, так сказать, расстояние откатки—по некоторым капитальным выработкам (квершлаг, рудничный двор и др.), не зависящее от постепенного удаления работ от ствола шахты и остающееся во все время эксплуатации шахты постоянным.

Обозначим стоимость откатки 1 пуда ископаемого по этим капитальным выработкам через q .

По мере подвигания работ от шахты расстояние откатки будет увеличиваться, а следовательно будет удорожаться и стоимость.

Не трудно показать, что это возрастание стоимости откатки происходит равномерно—по арифметической прогрессии—соответственно увеличению расстояния.

Работа по откатке разделяется на два рода операций: если откатка сопряжена с нагрузкой, что обычно бывает при откатке по промежуточным штрекам, то откатчик должен нагрузить вагончик, доставить его к определенному пункту, сменить груженный вагончик порожним и доставить последний обратно к месту погрузки. Ясно, что работа по погрузке и по смене вагончика является операций, не зависящей от расстояния откатки. Точно также при чистой откатке (без нагрузки) смена груженных вагончиков порож-

Если придавать x различные значения, то получим уравнение, выражающее изменение расходов по откатке в зависимости от изменения длины шахтного поля.

Выразим это изменение прямой EF (черт. 1), согласно уравнения (6).

Таким образом, мы имеем три линии (AB , CD и EF), выражающие графически зависимость от длины шахтного поля x всех расходов, связанных с этой величиной.

Результирующая кривая (черт. 1. линия MN), построенная на полученных слагаемых, выразит, очевидно, характер суммарного изменения всех расходов, падающих на единицу ископаемого, и непосредственно по чертежу можно найти, при каком x ордината y получает наименьшее значение.

Уравнение этой результирующей кривой будет:

$$y = y_1 + y_2 + y_3 = \frac{HK}{Bx\Sigma p} + \frac{r}{2B\Sigma p} \left(\frac{x}{2l} + 1 \right) + q + \frac{d}{2} \left(\frac{x}{2} - 1 \right) \quad (7)$$

Если написать полученное уравнение в виде:

$$y = \frac{HK}{B\Sigma p x} + \left(\frac{r}{2B\Sigma p l} + \frac{d}{4} \right) x + \left(\frac{r}{2B\Sigma p} + q - \frac{d}{2} \right) \dots (7^1),$$

то увидим, что полученная кривая есть гипербола и следовательно изменение расходов по устройству шахты, по ремонту штреков и по откатке, падающих на единицу ископаемого, изменяется в связи с изменением шахтного поля по гиперболическому закону.

Чтобы найти аналитически то значение x , при котором ордината y дает наименьшее значение, надо, как известно, взять первую производную и, приравняв ее к нулю, решить полученное уравнение относительно x .

Произведя указанные действия, найдем

$$x = 2 \sqrt{\frac{HKl}{r + B\Sigma p d l}} \dots \dots \dots (8)$$

Что y при этом, действительно, имеет минимум, легко убедиться, взяв вторую производную, которая в данном случае > 0 .

Не останавливаясь на подробном исследовании кривой, выраженной уравнением (7^1) , отметим, что ординаты ее точек влево от минимума возрастают быстрее, чем вправо, т. е. кривизна ее влево от точки x , отвечающий тому значению, которое получается по равенству (8), изменяется быстрее, чем вправо. Это легко проверить, взяв радиус кривизны для точек $(x+n)$ и $(x-n)$.

Это обстоятельство приводит к весьма важному практическому выводу: в тех случаях, когда приходится закладывать на участке по простиранию пластов несколько шахт и та наивыгоднейшая длина шахтного поля, которая определяется равенством (8), не укладывается в участке целое число раз и следовательно приходится ее

Д — соответствующее возрастание стоимости откатки, причем, очевидно,

[illegible]

$$y_3 = q + \frac{D}{2} \left(\frac{x}{2L} - 1 \right),$$
$$y = y_1 + y_2 + y_3 = \frac{HK}{\Sigma p B x} + \frac{r}{2 B \Sigma p} \left(\frac{x}{2l} + 1 \right) + q + \frac{D}{2} \left(\frac{x}{2L} - 1 \right)$$
$$x = 2 \sqrt{\frac{HKL}{rL + B \Sigma p D}}$$
$$x = 2 \sqrt{\frac{H K l}{r + B \Sigma p d l}},$$

Формула (8) действительна и применима только для тех случаев, когда для эксплуатации определенного участка не приходится закладывать, помимо шахты под'емной, еще и вентиляционную, т. е. когда для проветривания работ является возможным воспользоваться или старой шахтой, или это проветривание возможно производить при помощи недорогих воздушников. Если же кроме под'емной шахты глубиной H саж. и стоимостью K руб. за 1 пог. саж. (с оборудованием), приходится проходить еще специально вентиляционную шахту, глубиною H^1 и стоимостью K^1 за 1 пог. саж., то формула (8) получит вид:

$$x = 2 \sqrt{\frac{(HK + H^1 K^1)l}{r + B \Sigma p d l}} \dots \dots \dots (8^1)$$

Точно также, если на ряду с основным откаточным штреком приходится поддерживать также вентиляционный этажный штрек, для r надо брать сумму расходов по ремонту того и другого штрека.

Иллюстрируем изложенное примерами.

Пример 1. Возьмем шахту в условиях Подмосковского бассейна, глубиной $H=20$ саж., стоимостью (по средним довоенным ценам) $K=500$ руб., $r=1,5$ руб., $l=3$ саж., $B=150$ саж. и $\Sigma p=500$ пуд., с ручной откаткой к стволу шахты.

Величину d возрастания стоимости ручной откатки с удлинением ее на 1 пог. саж. можно считать согласно данным практики в 0,002 коп. = 0,00002 руб. (см. «Горн. Журн.», 1915 2, Б. И. Бокий «Выбор системы работ». Откатка).

Решая вопрос аналитически по формуле (8), получим для наивыгоднейшей длины x шахтного поля значение

$$x = 2 \sqrt{\frac{H L l}{r + B \Sigma p d l}} = 2 \sqrt{\frac{20 \cdot 500 \cdot 3}{1,5 + 0,00002 \cdot 500 \cdot 3 \cdot 150}} = \approx 140 \text{ с.},$$

что в действительности и имеет место в практике Подмосковского бассейна.

Решая тот же вопрос графически и делая построение линий, выраженных соответственно уравнениями (3), (5) и (6), при тех значениях входящих в эти уравнения величин, которые приняты в рассматриваемом примере, найдем результирующую кривую MN (черт. 1), наименьшие ординаты которой получаются при $x=130$ до 150 саж., каковые цифры и должны отвечать наивыгоднейшей длине шахтного поля.

Пример 2. Возьмем условия Донецкого бассейна. Пусть имеем шахту, глубиной $H=100$ саж., для которой $K=1000$ руб., $\Sigma p=600$ пуд., $B=120$ саж., $l=8$ саж., $r=1$ руб.

Величина d , согласно данным практики, для конной откатки определяется по довоенным ценам в 0,00036 коп. = 0,0000036 руб. (Б. И. Бокий «Откатка», Горн. Журн., 1915, 2).

Величина шахтного поля будет

$$x = 2 \sqrt{\frac{H K l}{r + B \Sigma p d l}} = 2 \sqrt{\frac{100 \cdot 1000 \cdot 8}{1 + 120 \cdot 600 \cdot 0,0000036 \cdot 8}} = \approx 1100 \text{ с.},$$

Тоже самое можно было бы подтвердить и графическим построением, как это сделано для 1-го примера.

Не трудно показать путем непосредственного подсчета, что для всякой другой величины x , большей или меньшей, сумма расходов от проведения шахты, ремонта основных штреков и откатки

ляжет на единицу добычи большей цифрой, чем та, которая будет при x , определяемом из формулы (8).

Если взять первый из разобранных примеров и вычислить значения U_1 , U_2 , U_3 и сумму их для $x = 100$ саж., 140 и 180 саж., то получим результаты, указанные в таблице I.

ТАБЛИЦА I.

Длина шахтного поля в саж.	100	140	180
Расходы на пуд по устр. шахты	0,133	0,096	0,074
Расходы по ремонту штреков	0,017	0,024	0,031
Расходы по откатке в коп.	0,049	0,069	0,089
Сумма расходов в коп.	0,199	0,189	0,194

Эта же таблица подтверждает тот вывод, который был сделан раньше на основании рассмотрения кривой (6), что с изменением шахтного поля притив наивыгоднейшей длины на определенную величину расходы возрастают медленнее при увеличении поля, чем при его уменьшении, что можно усмотреть и из общего вида результирующей кривой.

III.

Пользуясь тем же самым методом, мы можем определить и наивыгоднейшие размеры по простиранию выемочных участков.

Размеры участков по простиранию, иначе сказать — расстояния между бремсбергами — определяются отношением расходов по проведению бремсбергов вместе с путевым ходкам, по ремонту промежуточных или под'этажных штреков и расходов по откатке, обычно — ручной, по тем же промежуточным штрекам, и наивыгоднейшее расстояние обуславливается минимумом суммы этих расходов на единицу ископаемого.

Обозначим:

через B — наклонную высоту этажа,
 b — наклонную высоту под'этажа,
 p — производительность пласта в пудах,
 k — стоимость проведения (и оборудования) 1 п. с. бремсберга,
 k_1 — стоимость проведения 1 п. с. ходка,
 x — расстояние между бремсбергами, т. е. длину выемочного поля (участка) по простиранию,
 l — месячную скорость подвигания забоев,
 r — месячную стоимость ремонта 1 п. с. под'этажного штрека,

через q —стоимость нагрузки одного пуда ископаемого в вагончик,
 d —удорожание стоимости откатки 1 п. при удлинении откатки на 1 п. с.,
 y_1 —погашение на 1 пуд расходов по прохождению бремсберга и ходка,
 y_2 —расходы на 1 пуд по ремонту под'этажных штреков,
 y_3 —расходы на 1 пуд по откатке.

Принимая во внимание, что через последний, самый верхний под'этаж бремсберг обычно не проводится, а следовательно общая длина его $= (B-b)$ и число под'этажных штреков $\left(\frac{B}{b} - 1\right)$ соответственно (3), (5) и (6) найдем:

$$y_1 = \frac{k+k_1}{B \cdot x \cdot p} (B-b) \dots \dots \dots (3^1)$$

$$y_2 = \frac{r}{2B \cdot p} \left(\frac{x}{1} + 1\right) \left(\frac{B}{b} - 1\right) \dots \dots \dots (5^1)$$

$$y_3 = q + \frac{d}{2} (x-1) \dots \dots \dots (6^1)$$

где x —искомое расстояние между бремсбергами.

Беря сумму написанных равенств, получим уравнение:

$$y = y_1 + y_2 + y_3 = \frac{(k+k_1)(B-b)}{B \cdot x \cdot p} + \frac{r}{2Bp} \left(\frac{x}{1} + 1\right) \left(\frac{B}{b} - 1\right) + \\ + q + \frac{d}{2} (x-1) \dots \dots \dots (7^{11}),$$

которое будет характеризовать изменение расходов по проходке бремсберга (с ходком), по ремонту штреков и по откатке — в зависимости от изменения x .

Вычерчивая по заданным постоянным при разных значениях переменной x кривую, выраженную уравнением (7^{11}) , относя ее к прямоугольной системе координат и откладывая по оси x — различные значения длины поля, а по оси y — соответствующие суммы расходов, непосредственно по чертежу найдем, какому расстоянию x между бремсбергами отвечает минимум расходов (черт. II*)

Кривая уравнения (7^{11}) есть гипербола и из ее исследования можно сделать те же выводы, которые были сделаны относительно кривой (7).

*) На черт. II, линии AB, CD и EF отвечают уравнениям $(3^1, 5^1$ и $6^1)$, кривая MN — (7^{11}) , причем масштаб для ординат последний взят вдвое меньше, чем для первых трех, что, понятно, не меняет точки ее перегиба, отвечающей минимуму.

Аналитически получим минимум для y , найдя первую производную этой функции по x , приравняв ее к нулю и решив относительно x .

Получим:

$$x = \sqrt{\frac{2(k+k_1)(B-b).b.l}{r(B-b)+dVplb}} \dots \dots \dots (10)$$

Так как вторая производная y больше нуля, заключаем, что при x (10) имеем место, действительно, минимум.

Пример. Пусть имеем $p=200$ п., $B=60$ с., $b=15$ саж., $k=30$ п., $k_1=12$ п., $l=8$ саж., $r=0,5$ п. и $d=0,002=0,00002$ п. (при ручной откатке).

Наивыгоднейшее расстояние x между бремсбергами определяется по равенству (10), т. е.

$$x = \sqrt{\frac{2(30+12)(60-15)8.15}{0,5(60-15)+0,00002.60.200.8.15}} = \approx 100 \text{ с.}$$

Сделаем для рассмотренного примера проверку, вычислив расходы, падающие на пуд ископаемого от проходки бремсберга и ходка, от ремонта штреков и откатки, при $x=80, 100$ и 120 с., приняв, согласно данным практики, $q=0,1$ коп.

Результаты вычислений указаны в таблице II, откуда видно, что $x=100$ саж., действительно, является расстоянием между бремсбергами, при котором получается наименьшая сумма расходов, иначе—длиной участков по простиранию, наиболее выгодной.

Т А Б Л И Ц А II.

Расстояние между бремсбергами в саж. . .	80	100	120
Расходы по провед. бремсб. и ходков . . .	0,197	0,157	0,131
Расходы по ремон. под'этаж. штреков . . .	0,051	0,063	0,075
Расходы по откат. по под'эт. штрекам . . .	0,179	0,199	0,219
Сумма расходов	0,427	0,419	0,425

IV.

Определим теперь наиболее выгодную длину выемочного поля по восстановлению, иначе говоря, наклонную высоту под'этажа.

Вообще наклонная высота под'этажа в первую очередь обуславливается степенью устойчивости боковых пород разрабатываемого пласта, позволяющих при выемке обгнать ту или иную

площадь. В тех же случаях, когда боковые породы являются достаточно устойчивыми, чтобы не стеснять слишком узкими пределами выбор наклонной высоты под'этажа, вопрос разрешается экономическими соображениями.

Обычно при пологом падении пласта доставка отбитого в забое полезного ископаемого к рельсовому пути штрека производится в волокушах или санках, — механические приспособления, разного рода конвейера и транспортеры широкого распространения еще не получили. Поэтому в дальнейшем изложении под доставкой полезного ископаемого от забоя к рельсовому пути мы будем подразумевать только саночную доставку, тем более, что при других способах доставки конвейерами или транспортерами при пологом падении и раштаками или желобами при более крутом падении — высота под'этажа регулируется, главным образом, безопасностью и удобствами работы, обуславливаемыми в первую очередь, как указывалось, крепостью боковых пород.

Если имеется этаж наклонной высоты B саж., то его можно разбить на под'этажи различным образом, придавая наклонной высоте последних большее или меньшее значение. Если разобьем этаж на под'этажи большей наклонной высоты, то будем иметь меньше промежуточных (под'этажных) штреков, а следовательно меньше расходов по проведению и поддержанию их, но за то расходы по доставке отбитого в забое ископаемого к рельсовому пути штрека будут больше. Наоборот, при меньшей наклонной высоте под'этажа расходы по проведению и ремонту штреков возрастут, но за то доставка на более короткие расстояния ляжет на пуд ископаемого меньшей стоимостью. Наивыгоднейшей наклонной высотой под-этажа будет та, при которой сумма указанных расходов окажется наименьшей.

Выразим стоимость единицы (пуда) полезного ископаемого в зависимости от тех статей расходов, которые являются связанными с величиной наклонной высоты под'этажа, в виде явной функции этой последней.

Обозначим:

через k — стоимость прохождения пог. саж. под'этаж. штрека,
 L — длину выемочного поля (расстоян. между бремсбергами),
 x — наклонную высоту под'этажа в саж., —

тогда число под'этажных штреков будет:

$$\left(\frac{B}{x} - 1\right)$$

и общая стоимость их прохождения при длине выемочного поля L саж. —

$$\left(\frac{B}{x} - 1\right) L \cdot k,$$

что дает за пуд ископаемого

$$y_1 = \left(\frac{B}{x} - 1 \right) Lk : B_p L = \frac{k}{B_p} \left(\frac{B}{x} - 1 \right) . . . (3^{11})$$

Стоимость расходов y_2 по содержанию под'этажных штреков, падающая на пуд ископаемого, при ранее принятых обозначениях, согласно (5) будет

$$y_2 = \frac{r}{2 B_p} \left(\frac{L}{l} + 1 \right) \left(\frac{B}{x} - 1 \right) (5^{11})$$

Если считать x независимой переменной, то каждое из написанных равенств (3¹¹) и (5¹¹) представит из себя уравнение кривой, выражающей изменение расходов по проведению под'этажных штреков и их поддержанию в зависимости от наклонной высоты под'этажа.

Вычерчиваем эти кривые на основании их уравнений (см. черт. III, — АВ и СД).

Что касается стоимости расходов по саночной доставке ископаемого от забоев к рельсовым путям, то их зависимость от расстояния доставки представляется более сложной, чем соответствующая зависимость расходов по откатке.

Хотя работа саночника вполне аналогична работе откатчика (вагонщика) и состоит из последовательного ряда аналогичных операций загрузки ископаемого в санки, передвижения санок до места выгрузки, выгрузки и обратного передвижения санок к месту погрузки, из которых одни операции зависят от расстояния передвижения, а другие не зависят, и потому производительность T^1 саночника, выраженная числом доставляемых им санок, должна изменяться по тому же уравнению (6), которое выведено для работы откатчика, т.-е.

$$T^1 = \frac{M^1}{N^1 + n^1 x} , (11)$$

где M^1 —время чистой работы саночника,

N^1 —время загрузки и выгрузки санок,

n^1 —общее время перевозки на 1 пог. саж. груженных санок в одну сторону и порожних обратно,

однако, в рассмотренном случае практически величина n^1 не является постоянной, независимой от расстояния возки, как то имеет место при откатке. Вследствие своеобразных, весьма тяжелых условий работы саночника, при длинных расстояниях возки, вызывающих сильное утомление и требующих более частых и более продолжительных промежутков отдыха — после каждого оборота, величина n^1 , как показывают наблюдения над действительной работой саночника, с увеличением расстояния возки тоже увеличивается.

На основании данных практики без большой погрешности увеличение значения n^1 можно считать равномерным с удлинением расстояний, происходящим по прямой линии, т. е. можно принять

$$n^1 = b^1 + c^1 x,$$

где b^1 и c^1 — некоторые постоянные, обуславливаемые условиями пласта (мощностью, характером почвы и проч.).

Отсюда уравнение (11) производительности саночника примет вид:

$$T^1 = \frac{M^1}{N^1 + (b^1 + c^1 x) x} \dots \dots \dots (11^{11})$$

и если P — сменный заработок саночника, t — емкость санок, то стоимость саночной доставки y_3 в зависимости от расстояния возки, выразится равенством:

$$y_3^1 = \frac{P [N^1 + (b^1 + c^1 x) x]}{M^1 t}, \dots \dots \dots (13)$$

которое, как уравнение, можно представить в общем виде:

$$y_3^1 = a + bx + cx^2 \dots \dots \dots 12$$

Надо иметь в виду, что написанное уравнение выражает изменение стоимости саночной доставки пуда ископаемого в зависимости от длины доставки, а отнюдь не от высоты под'этажа.

Чтобы перейти от написанного уравнения (13) к этому последнему, надо, очевидно, взять интеграл первого и разделить на x . Получим:

$$y_3 = \frac{\int y_3^1}{x} = \frac{\int (a + bx + cx^2) dx}{x} = a + \frac{b}{2} x + \frac{c}{3} x^2 \dots \dots (14)$$

В этом уравнении

y_3 — стоимость расходов на пуд от саночной доставки,

x — наклонная высота под'этажа,

a, b, c — коэффициенты, зависящие от свойств пласта, — его мощности, угла падения, свойств почвы и пр.

Чтобы определить эти коэффициенты, надо сделать практические наблюдения над производительностью саночника при разных расстояниях возки x в конкретных условиях того или иного пласта, подсчитать по наблюдаемой производительности значение y_3^1 (13) и решить три уравнения с тремя неизвестными (a, b, c) при известных x и y_3^1 . Для более точного определения коэффициентов желательно не ограничиваться только тремя наблюдениями, как требуется для составления и решения трех уравнений с тремя неизвестными, а взять большее число наблюдений и составить большее число уравнений с тем, чтобы, обработав их по спо-

сбю наименьших квадратов, найти более точные значения коэффициентов. Дело упрощается, если имеются установленные для саночников нормы производительности при разных расстояниях возки, что в сущности представляет из себя суммированный результат тех же наблюдений.

Определив значения коэффициентов a , b и c , следует подставить их в уравнение (14), которое в окончательной форме и выразит изменение стоимости саночной доставки пуда ископаемого в зависимости от наклонной высоты под'этажа.

В результате будем иметь три уравнения (3¹¹), (5¹¹) и (14), выражающие зависимость стоимости пуда ископаемого от всех тех статей расходов, которые связаны с наклонной высотой под'этажа и по трем кривым этих уравнений можем построить результирующую кривую, которая покажет, при какой наклонной высоте под'этажа сумма рассматриваемых расходов будет наименьшей, эта наклонная высота и будет искомой наивыгоднейшей.

Уравнение результирующей кривой будет:

$$y = y_1 + y_2 + y_3 = \frac{k}{Bp} \left(\frac{B}{x} - 1 \right) + \frac{r}{2Bp} \left(\frac{L}{1} + 1 \right) \left(\frac{B}{x} - 1 \right) + \\ + a + \frac{b}{2} x + \frac{c}{3} x^2, \dots \dots \dots (15)$$

которое и выразит стоимость пуда ископаемого в зависимости от наклонной высоты под'этажа в виде явной функции этой последней. Отыскивая то значение x , при котором кривая имеет минимум, получим уравнение:

$$y^1 = f^1(x) = - \frac{k}{p x^2} - \frac{r}{2p x^2} \left(\frac{L}{1} + 1 \right) + \frac{b}{2} + \frac{2c}{3} x, \dots (16)$$

которое, как уравнение третьей степени, не поддается решению в общем виде, и следовательно графический метод для точного решения поставленного вопроса в некоторых случаях может оказаться единственно возможным.

Для приблизительного вычисления наклонной высоты под'этажа можно воспользоваться упрощенным способом, считая, что увеличение стоимости саночной доставки происходит равномерно с удлиннением расстояния доставки.

В этом случае, если обозначить через q —стоимость нагрузки в санки и выгрузки 1 пуда вместе с доставкой на 1 пог. саж.,

d —удорожание стоимости доставки пуда с удлиннением расстояний на каждую пог. саж. возки,

получим для расходов по саночной доставке:

Т А Б Л И Ц А Ш.

Расстояние доставки . . .	0—3 с.	3—5 с.	5—10 с.	10—15с.	15—20с.	20—25с.	25—30с.
Потребно на 1000 п. . . .	1,25	1,50	2,00	2,75	3,75	5,00	6,30
Стоимость дост. 1 п. . . .	0,250	0,30	0,40	0,55	0,75	1,00	1,30

Пользуясь этими данными, определим коэффициенты в уравнении (13) кривой, выражающей зависимость стоимости доставки от расстояния.

Беря $x = 7,5$ саж., $17,5$ саж. и $27,5$ саж., будем иметь три уравнения с тремя неизвестными:

$$\begin{aligned} 0,4 &= a + 7,5b + 5b, 25c, \\ 0,75 &= a + 17,5b + 30b, 25c, \\ 1,30 &= a + 27,5b + 75b, 25c, \end{aligned}$$

решая которые, получим:

$$\begin{aligned} a &= 0,27, \\ b &= 0,01, \\ c &= 0,001, \end{aligned}$$

и потому уравнение (12) примет вид:

$$y_1 = 0,27 + 0,01x + 0,001x^2,$$

а уравнение (14), выражающее изменение стоимости саночной доставки в зависимости от наклонной высоты под'этажа

$$y_3 = 0,27 + \frac{0,01}{2}x + \frac{0,001}{3}x^2 \dots (14^1)$$

По уравнениям (3^{11}) , (6^{11}) и (14^1) вычислим величины y_1 , y_2 и y_3 для разных значений x и по результатам вычислений построим соответствующие кривые.

Результаты вычислений указаны в таблице IV и кривые на черт. III, где кривая EF выражает изменение стоимости саночной доставки в зависимости от изменения наклонной высоты под'этажа.

Т А Б Л И Ц А IV.

Наклонная высота под'этажа . .	10 с.	15 с.	20 с.	25 с.	33 с.
Расходы по проводке штреков . .	0,900	0,600	0,400	0,300	0,200
Расходы по ремонту штреков . .	0,140	0,087	0,058	0,043	0,029
Расходы по саночной дост. . . .	0,350	0,420	0,503	0,599	0,798
Сумма расходов	1,320	1,102	0,961	0,942	1,027

Как видно из таблицы, наименьшая сумма расходов получается при наклонной высоте $x = 25$ с.

Результирующая кривая MN (черт. III) показывает, что ординаты y получают наименьшее значение при $x =$ от 20 до 30 с., в каковых пределах и находится наиболее выгодная наклонная высота под'этажа.

Чтобы сделать приближенное вычисление наклонной высоты под'этажа по формуле (18), необходимо по данным таблицы (IV) определить среднее удорожание d стоимости саночной доставки.

Беря для среднего расстояния доставки в 1,5 саж. $y_3^1 = 0,250$ к. и для 27,5 саж. $y_3^1 = 1,30$ коп., получим:

$$d = \frac{1,30 - 0,25}{27,5 - 1,5} = \approx 0,04 \text{ коп.} = 0,0004 \text{ руб.}$$

и по формуле (18¹) будем иметь:

$$x = \sqrt{\frac{(2k+r)l+rL}{dpl}} = \sqrt{\frac{(2 \cdot 20 + 0,5) \cdot 8 + 0,5 \cdot 100}{0,0004 \cdot 200 \cdot 8}} = \approx 24 \text{ с.}$$

Если полученная расчетом наклонная высота не делит этаж на целое число под'этажей, необходимо делать поправку, беря для высоты под'этажа ближайшее к вычисленному число, на которое высота этажа делится нацело.

Kurze Zusammenfassung des Artikels „Über die Bestimmung der vorteilhaftesten Massverhältnisse der Schachtfelder und Abbauräume beim Abbauflötzartiger Lagerstätten“.

A. Smirnow.

Der Verfasser ist der Meinung, dass die auf mathematische Analyse begründeten allgemeinen Rechnungsmethoden im gleichen Masse in vielen Abschnitten der Bergbaukunde angewandt werden können, wie sie schon in anderen Zweigen des Ingenieurfaches Anwendung finden. Insbesondere kann diese mathematische Methode in demjenigen Abschnitte der Bergbaukunde angewandt werden, welcher die Wahl der Grundmassverhältnisse der Abbausysteme der Lagerstätten, speziell der flötzartigen und vor allem der Steinkohlenvorkommen, behandelt, wo bis vor verhältnismässig kurzer Zeit per Empirismus vorherrschte und die mathematische Methode zum ersten Male durch Prof. Bocki eingeführt wurde.

Der Hauptgedanke der Methode liegt in der Anschauung, dass die grundmassverhältnisse der Abbausysteme derart getroffen werden sollen, dass die von denselben abhängigen Kosten nur im allerkleinsten grade auf die Masseinheit der Ausbeute fielen.

Von diesem gedanken ausgehend, gibt der Verfasser Rechnungsorten an zur Bestimmung der vorteilhaftesten Massverhältnisse für Schacht — und Abbaufelder und Abbauräume.

Im Anfange des Artikels (Kapitel I) werden Definitionen derjenigen Fachausdrücke gegeben, die in der weiteren Auslegung vorkommen und mit denen man es bei der Betrachtung der erwähnten Grundmasseinheiten der Abbausysteme zu tun hat. In demselben Kapitel werden in aller Kurze früher vorgeschlagene Formeln zur Berechnung der vorteilhaftesten Massverhältnisse durchgesehen; es wird auf die Unvollständigkeit derselben hingewiesen, welche dadurch erklärt wird, dass bei der Ableitung dieser Formeln nicht alle die Wahl der Massverhältnisse beeinflussenden Faktoren berücksichtigt werden, — und im weiteren Laufe der Auseinandersetzung werden Formeln vorgeschlagen, die auf alle Faktoren, mit Einschluss der früher nicht in Betracht gezogenen, begründet sind.

Im II Kapitel werden Formeln abgeleitet, welche die Bestimmung der vorteilhaftesten Massverhältnisse für Schachtfelder nach dem Streichen (dem Abstände zwischen den Schächten) ermöglichen. Neben der analytischen wird auch die graphische Lösung der betreffenden Frage gegeben.

Das III Kapitel leitet Formeln ab und gibt eine graphische Lösung der Frage über die vorteilhaftesten Massverhältnisse der Abbaufelder nach dem Streichen, d. h. dem Abstände zwischen den Bremsbergen.

Im IV Kapitel wird — analytisch und graphisch — die Lösung der Frage über die vorteilhafteste gesenkte Höhe der Unterwerke, d. h. dem vorteilhaftesten Abstände zwischen den Unterwerksstrecken, gegeben.

In der Abhandlung wird jede Formel durch Beispiele aus der Praxis illustriert.

Зерн. I





